

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA
OSTRAVA

FAKULTA STROJNÍ

KATEDRA ENERGETIKY

Návrh spalínového horkovodního výměníku
na krbová kamna

Project of Hot Water- Combustion Products
Heat Exchanger for Wood Burning Stove

Student:

Michal Buchta

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Zdeněk Kadlec, Ph.D.

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Buchta**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 3907R009 Provoz energetických zařízení
Téma: **Návrh spalínového horkovodního výměníku na krbová kamna**
Project of Hot Water - Combustion Products Heat Exchanger
for Wood Burning Stove

Zásady pro vypracování:

Práce bude obsahovat:

- analýzu možností využití kouřových plynů z krbových kamen,
- výběr vhodné varianty,
- návrh tepelného výměníku,
- stechiometrický výpočet množství spalín,
- posouzení ekonomického přínosu zvolené varianty.

Seznam doporučené odborné literatury:

BLAHOŽ, V., KADLEC, Z. *Základy sdílení tepla*. 2.vyd. Ostrava: SPBI Spektrum, 2000. 110 s.

ISBN 80-902001-1-7.

DLOUHÝ, T. *Výpočty kotlů a spalínových výměníků*. Praha: ČVUT, 2002.

KADLEC, Z. *Průvodce sdílením tepla pro požární specialisty*. Ostrava: SPBI Spektrum. 2009. 100 s.
ISBN 978-80-7385-061-6.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

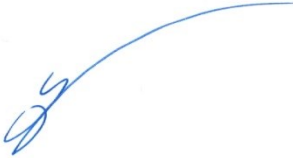
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Zdeněk Kadlec, Ph.D.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Mistopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

—

V Ostravě 20.5.2013

.....*Bučla*.....

popis studenta

Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci plně vztahuje zákon č. 121/2000Sb, autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užití v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užití své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 20.5.2013


.....podpis

Jméno a příjmení autora práce: Michal Buchta

Adresa trvalého pobytu: Lhotka nad Bečvou 84

Poděkování

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Zdeňku Kadlecovi, PhD. za ochotu, připomínky, rady a získání cenných zkušeností při vedení bakalářské práce.

ANOTACE BAKALAŘSKÉ PRÁCE

Buchta M., Návrh spalínového horkovodního výměníku na krbová kamna., Bakalářská práce. Ostrava VŠB-TUO Ostrava, Fakulta Strojní, Katedra Energetiky, 2013 Vedoucí práce: Kadlec, Z.

Práce je zaměřena na návrh horkovodního spalínového výměníku pro malá krbová kamna, vyrobeny doma. Výměník je vložen do soustavy, která má za úkol vodou ohřívat nasávaný vzduch a ten je vzduchovodem veden do vyhřívané místnosti. Obsahem práce je vytápění, a jaké problémy se musí při jeho návrhu řešit. Představení základních druhů výměníku. Pomocí výpočtu zjistit, jestli navržený teplovodní výměník má na dané kamna a systém význam. A popřípadě najít lepší řešení.

Buchta M, Project of Hot Water – Combustion Products Heat Exchanger for Wood Burning Stove., Bachelor Thesis. Ostrava: VŠB-TUO Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, The Department of Power Engineering 2013. Thesis head Kadlec, Z.

Thesis is focused on Project of Hot Water – Combustion Products Heat Exchanger for small Wood Burning Stove, exchanger was made at home. Exchanger is inserted into the system, which is responsible for water to heat incoming air and by the airway is kept in to heated room. Content of thesis is heating and problem of projecting heating systems. Will be present basic types of exchanger. And will be find out, if projected exchanger is important for heating system by calculation. And If will be can find better solution.

Seznam použitých značek a symbolů

$D_{kouř}$	průměr kouřovodu	$[m]$
P_n	tlak za normálních podmínek	$[Pa]$
P_{sk}	tlak za skutečných podmínek	$[Pa]$
Q_i^r	spalné teplo paliva	$[MJ]$
$Q_{sál}$	výkon vysálaný výměníkem	$[kW]$
Q_{spal}	výkon dodán spaliny	$[kW]$
$Q_{vým}$	výkon výměníku	$[kW]$
$S_{kouř}$	plocha kouřovodu	$[m^2]$
S_{vzduch}	plocha řezu vzduchovodu	$[m^2]$
T_n	teplota za normálních podmínek	$[K]$
T_{sk}	teplota za skutečných podmínek	$[K]$
V_{CO_2}	objem CO_2	$[m_N^3 \times kg]$
V_{H_2O}	objem H_2O	$[m_N^3 \times kg]$
V_{N_2}	objem N_2	$[m_N^3 \times kg]$
$V_{O_2,t}$	objem O_2 teoretického	$[m_N^3 \times kg]$
V_n	objemový průtok spalin za normálních podmínek	$[m_N^3 \times kg^{-1}]$
V_{sk}	objemový průtok za skutečných podmínek	$[m^3 \times s^{-1}]$
$V_{sp,sk}^s$	objem spalin skutečných suchých	$[m_N^3 \times kg]$
$V_{sp,sk}^v$	objem spalin skutečných vlhkých	$[m_N^3 \times kg]$
$V_{sp,t}$	objem spalin teoretických vlhkých	$[m_N^3 \times kg]$
$V_{vz,sk}^s$	objem vzduchu skutečného suchého	$[m_N^3 \times kg]$
$V_{vz,sk}^v$	objem vzduchu skutečného vlhkého	$[m_N^3 \times kg]$
$V_{vz,t}^s$	objem vzduchu teoretického suchého	$[m_N^3 \times kg]$
$V_{vzduch(větrák)}$	dodávané množství vzduchu větrákem	$[m^3 \times s^{-1}]$
W_{spal}	rychlost spalin	$[m \times s^{-1}]$
A	obsah popeloviny v palivu	$[-]$
C	obsah uhlíku v palivu	$[-]$
Gr	Grášofovo kritérium	$[-]$
H	obsah vodíku v palivu	$[-]$
N	obsah vodíku v palivu	$[-]$
Nu	Nuseltovo kritérium	$[-]$

O	obsah kyslíku v palivu	$[-]$
Pr	Prantlovo kritérium	$[-]$
$Q_{sál}$	sálavý výkon kamen	$[kW]$
Re	Reynoldsovo kritérium	$[-]$
W	obsah vody v palivu	$[-]$
\dot{m}_{pal}	hmotnostní průtok paliva	$[kg \times s^{-1}]$
\dot{m}_{vody}	hmotnostní průtok vody ve výměníku	$[kg \times s^{-1}]$
cp_{spal}	měrná tepelná kapacita spalin	$[J \times kg^{-1} \times K^{-1}]$
cp_{vody}	měrná tepelná kapacita vody	$[J \times kg^{-1} \times K^{-1}]$
cp_{vzduch}	měrná tepelná kapacita vzduchu	$[J \times kg^{-1} \times K^{-1}]$
d_i	průměr	$[m]$
t_{povrch}	teplota povrchu výměníku	$[^{\circ}C]$
t_{spal1}	Teplota spalin před výměníkem	$[^{\circ}C]$
t_{spal2}	teplota spalin za výměníkem	$[^{\circ}C]$
$t_{urč}$	teplota určující	$[^{\circ}C]$
h	výška výměníku	$[m]$
g	gravitační zrychlení	$[m \times s^{-1}]$
k	součinitel prostupu tepla trubkou	$[W \times m^{-2} \times K^{-1}]$
l	délka	$[m]$
w	rychlost	$[m \times s^{-1}]$
ω_i	koncentrace jednotlivých složek ve spalinách	$[-]$
ρ_{vzduch}	hustota vzduchu	$[Kg \times m^{-3}]$
Δt_{spal}	rozdíl teplot spalin	$[^{\circ}C]$
n	přebytek vzduchu	$[-]$
α	součinitel přestupu tepla	$[W \times m^{-2} \times K^{-1}]$
γ	tepelná roztažnost	$[-]$
η	účinnost	$[-]$
λ	součinitel tepelné vodivosti	$[W \times m^{-2} \times K^{-1}]$
ν	součinitel vlhkosti	$[-]$
ν	viskozita vzduchu	$[m^2 \times s^{-1}]$

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	1
Obsah	3
Úvod:	5
1. Vytápění	6
1.1. Tepelná pohoda člověka	7
2. Krbová Kamna	8
2.1. Bezpečnost při použití krbových kamen	9
3. Princip teplovzdušného vytápění	10
3.1. Vzduchovody	10
3.2. Topení rekuperací	12
4. Teplovodní vytápění	13
5. Výměníky	15
5.1. Teplovodní výměník v krbových kamnech	15
1.1. Bezpečnost při používání teplovodních výměníků	18
5.2. Součásti vodovodního okruhu	18
6. Výběr vhodné varianty horkovodního výměníku	20
6.1. Charakteristika vzduchovodu	21
6.2. Použité krbové kamna	22
6.3. Použitý výměník	23
6.4. Průtok vody ve výměníku	24
7. Výpočtová část	25
7.1. Stechiometrický výpočet spalín:	25
7.1.1. Výpočet množství suchého a vlhkého vzduchu:	25
7.1.2. Výpočet skutečných vlhkých spalín:	27
7.2. Výpočet spotřeby paliva v kamnech:	28
7.2.1. Hmotnostní průtok paliva:	29
7.3. Výpočet rychlosti spalín v kouřovodu:	29

7.4. Teplota a výkon výměníku:	30
7.4.1. Výpočet výkonu:	31
7.4.2. Výpočet rozdílu teploty na vstupu a výstupu výměníku:	32
7.5. Tepelná bilance:	32
7.6. Ztráta ve vzduchovodu:	33
7.6.1. Hmotový tok vzduchu:	36
7.6.2. Součinitel prostupu tepla trubkou:	36
7.6.3. Výpočet na kolik klesne teplota na koci vzduchovodu bez ohřevu vodou: ..	37
Závěr:	38
Použitá literatura:	39
Seznam Příloh:	41

Úvod:

Důvod proč jsem si vybral bakalářskou práci na téma Návrh spalínového horkovodního výměníku na krbová kamna je hlavně ten, že jej máme doma. Dělali jsme si jej sami a touto bakalářskou prací bych chtěl zjistit a lépe porozumět jak funguje. Protože jsme jej dělali před 5lety v době, kdy jsem ještě nestudoval energetiku a neměl jsem ponětí, jak přesně takové věci fungují. Také bych chtěl představit různé možnosti výměníků na krbové kamna popsat v čem je daný tip lepší a v čem pokulhává. Popsat verzi co máme doma, jelikož je trochu odlišná od těch komerčních. Seznámit s celým systémem do kterého je výměník zapojen a proč jsme výměník vlastně vůbec chtěli. Podle mě je to velice zajímavé téma v dnešní době pro majitele rodinných domků, chat aktuální. A zrovna náš výměník by mohl nabídnout něco nového.

Čtenáři nejprve představím významy topení, co to obnáší a jak se dá vytápět. Co při topení hraje roli, že existuje pojem tepelná pohoda člověka. Pak představím kamna jako způsob vytápění. Pokračovat budu teplovzdušným vytápěním i jeho součástí vzduchovodu. Následně popíšu výměníky pro krbová kamna a možnost jej využít pro ohřev vzduchu do vzduchovodu. Seznámím s použitým systémem a podle naměřených hodnot a stechiometrických výpočtu vypočítám výkon výměníku na krbová kamna, které máme o výkonu 5kW. Zhodnotím, jestli má výměník má dostatečný výkon a ekonomický přínos, popřípadě navrhnou vhodné řešení pro zlepšení jeho účinnosti.

1. Vytápění

Od začátku co si člověk buduje obydlí, tak se snaží nějakým způsobem regulovat teplotu uvnitř příbytku a to hlavně vytápět. V průběhu lidstva, kdy si člověk podstatě topil volně rozdělaným ohněm se způsob vytápění vyvíjel, až po dnešní technologie kdy si můžeme vybrat ze spousty způsobů vytápění

Při stavbě rodinného domu je jedna z hlavních otázek jak se bude dané obydlí vytápět. Velkou roli při rozhodování hraje především komfort bydlení tím je myšleno co nejméně se při vytápění domu namáhat. S tím jde ovšem ruku v ruce pořizovací cena vytápěcího zařízení. Je třeba se ovšem také zamyslet nad palivem, na které kotel, který bude dodávat teplo bude vůbec fungovat. Podle rozlohy si musíme spočítat, jak výkonné zařízení pro vytápění potřebujeme. Tak abychom neměli málo tepla, ale taky abychom nepořizovali zbytečně výkonný aparát. Protože například kotle nejlépe fungují na jmenovitý výkon. Další aspekt je úspora energie na tohle tlačí především evropská unie a nejedná se jen o zvýšení tepelného odporu obvodových zdí, ale taky o zabránění nekontrolovatelné filtrace vzduchu v domě. Tento trend vedl k tomu, že obydlí byla tak zatěsněna například těsnými okny, až minimálně docházelo k filtraci vzduchu to už pak, ale nesplňovalo hygienickou normu o cirkulaci vzduchu. Docházelo tak ke vzniku plísní. A už se musel řešit opačný problém. Dnes se například do oken dělají schválně filtrační díry pro cirkulaci vzduchu, nebo se dělá řízená filtrace domu. Filtrace domu je systém, do kterého se musí také investovat a po dobu životnosti udržovat. To pak ztrácí původní myšlenku, kterou byla minimalizovat ztráty tepla větráním a minimalizovat investiční náklady. Je potřeba mezi tím najít kompromis, například tyto dva prvky spojit. Pak se dům stane nízkoenergetickým.

Základní rozdělení vytápění:

- Místní vytápění - zdroj vytápění se nachází ve vytápěném prostoru
- Ústřední vytápění – Zdroj tepla je mimo vytápěcí prostor
- Dálkové vytápění – zdroj vytápění je umístěn mimo vytápěnou budovu
- Etážové vytápění – zdroj tepla se nachází na stejné úrovni jako vytápěný prostor (myšleno stejné podlaží)

Podle zdroje tepla:

- Elektřina
- Fosilní paliva
- Biomasa
- Dálkový zdroj tepla(voda, pára)

1.1. Tepelná pohoda člověka

Aby se člověku dobře bydlelo, potřebuje se cítit dobře. Jeden z těchto faktorů který to ovlivňuje je tepelná pohoda. Ta nastane tehdy, je-li v obytném prostoru taková teplota, že člověk necítí zimu, ale ani ne přílišné teplo. Okolí by mělo odebírat člověku teplotu, ale ne pocením. Je to také stav mysli, která ukazuje spokojenost s klimatem, je to však subjektivní hodnocení.

Základní faktory, které ovlivňují tepelnou pohodu v obydlí je teplota vzduch, vlhkost vzduchu a proudění vzduchu. Je důležité, v jakém oblečení se osoby budou pohybovat v prostoru je to jeden z hlavních faktorů, protože oblečení ovlivňuje odvod tepla z povrchu kůže. Mimo jiné má velký vliv i věk a pohlaví, například ženy obecně snášejí zimu hůře než muži.

2. Krbová Kamna

Jako nejrozšířenějším způsobem vytápění obydlí, už jako rodinného domu nebo víkendové chaty jsou právě krbová kamna. Jsou malá, lehká a tím pádem snadno přenosná. Dokáží vytopit celý rodinný dům. Jejich účinnost se pohybuje mezi 40-80%. Jejich obrovská přednost je ve schopnosti akumulovat teplo. Takže i po vyhoření paliva chvíli ohřívají daný prostor. Na trhu je výběr z mnoha variant krbových kamen s různými parametry např.: litinová kamna, rohová krbová kamna, teplovzdušná kamna, kuchyňské sporáky, krbová kamna s vložkou. Druhá je opravdu hodně.

Parametry kamen:

- Velikost
- Výkon
- Materiál
- Podle paliva (dřevo, brikety, uhlí-moc se nepoužívá hodně dehtuje)
- Vzhled

Podle čeho vybírat krbová kamna:

- Podle velikosti vytápěného prostoru
- Měli bychom znát účinnou výšku komínu
- Tepelnou ztrátu objektu
- Na jaký průměr kouřovodu chceme zapojit kamna

Základní rozdělení kamen:

Klasická:

- Jednoplášťová: Tato kamna jsou vhodná pro případ, kdy chceme co nejrychleji vytopit jednu místnost. Teplo se předává sáláním, přes skleněný otvor a boky.
- Dvoupplášťová: Předává teplo sáláním jako jednoplášťová a navíc prouděním.

Nasávají potřebný vzduch do mezery mezi pláští, který cestuje pod a kolem topeniště, kde se ohřívá, čímž je vzduch teplý. Dostává rychlost a je vyfukován horními průduchy

u kamen. Jeho rychlost podporuje cirkulace v celé místnosti. Lépe se dostane do všech koutů i do jiného prostoru.

Dvouvložková. In: *Koumák* [online]. [cit. 2013-02-28]. Dostupné z:

<http://www.koumak.cz/krby/druhy-krbovych-kamen/>

Krbová kamna s výměníkem: Jeto moderní řešení krbových kamen. Umožňuje kamna zapojit do okruhu s vodou a využívat tuto vodu na pomocné vytápění, nebo jako samostatné vytápění. Je řešené pomocí krbové vložky. Ta se dá i odstranit.

2.1. Bezpečnost při použití krbových kamen

- Pokud hrozí, že se v místnosti s kamny bude nacházet hořlavý plyn (například výpary z lepidla), nesmí se kamna používat
- Při prvním použití kamen se musí větrat (vypaluje se povrchová ochrana).
- Dvířka kamen musí být vždy uzavřená, kromě zapalování paliva a přikládání.
- Obsluhovat kamna smí pouze svéprávná dospělá osoba
- Je důležité, aby se děti a osoby mentálně postižené nedostaly do prostoru spalování a nezpůsobili si tak popálení
- Když se zapálí oheň v krbových kamnech, musí se pravidelně kontrolovat
- Kromě ovládacích prvků je nebezpečné se dotýkat povrchu kamen za provozu, hrozí popálení.
- Popel z popelníku se musí vybírat mimo provoz kamen se speciálními pomůcky.
- Popel ukládat do nehořlavých a teple odolných nádob.
- Kamna nejsou určena pro spalování odpadků.
- Kamna nejsou určena pro neustálý provoz
- V případě požáru se hasí oheň v krbových kamen práškovým hasícím přístrojem, nebo pískem

3. Princip teplovzdušného vytápění

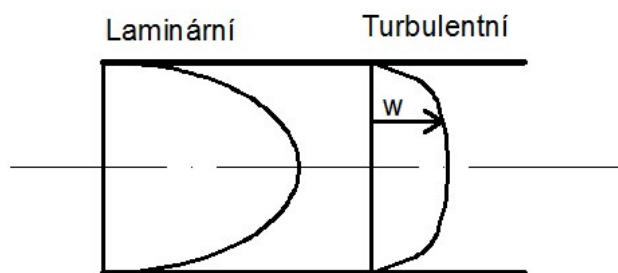
Teplovzdušné vytápění je způsob vytápění jehož princip je rozvod teplého vzduchu který je nositelem tepelné energie a ten se rozvádí po místnostech. Teplý vzduch v místnostech odevzdává teplo do okolí vlivem tepelných ztrát čím je ochlazován a odváděn z místnosti. Teplonosnou látkou jak je již zmíněn je vzduch. Vzduch na rozdíl od vody je výrazně horším nosičem tepla. Díky tomu mají teplovzdušné vytápění větší rozměry rozvodů a s tím je třeba počítat při stavbě obydlí. Nejsou však zde potřebné otopné plochy jak je tomu u tradičního vodního vytápění a rychleji reaguje na změnu výkonových požadavků. Kvůli absenci sálavé složky je třeba vzduch zahřívat na vyšší teplotu, to pak vede k vyšším tepelným ztrátám. Mezi lidmi zabývajícími se problematikou teplovzdušného vytápění je všeobecně známo to, že se v prašném prostředí nedoporučuje využívat rozvod teplého vzduchu jako samostatný vytápěcí systém. Jelikož ohřátý vzduch pro osoby nacházející se v obydlí působí jako suchý vzduch. Proto se doporučuje jej kombinovat s jiným druhem vytápění. Pokud ovšem vzduch není dodatečně zvlhčován. Kdysi se nedoporučovalo teplovzdušné vytápění zapojovat na zdroj, který používal pevná paliva. Protože zdroj nedokázal reagovat dostatečně pružně na změny výkonových požadavků. V posledních letech se tento problém řeší a už se například používají teplovzdušné kamna na pevná paliva.

3.1. Vzduchovody

Základní rozdělení:

- Součást stavební konstrukce budovy: Jsou už součástí budovy ve zdi betonové kanály nebo šachty. Vyskytují se převážně u starších budov.
- Potrubní rozvody vzduchu: Rozvody jsou obvykle z plechu kruhového nebo obdélníkového tvaru. Kruhové jsou lepší pro použití při vyšších rychlostech a méně se zanáší prachem. Čtvercové se ale lépe umísťují do prostoru,

Na správném projektování rozvodu záleží efektivnost a spolehlivost celého systému. A u velkých sítí taky ovlivní náklady, které nebývají často malé. Proudění v potrubí je buď laminární, nebo turbulentní. Určení o které proudění se jedná určujeme podle Reynoldsova čísla. Je-li $Re < 2300$ jedná se o laminární proudění. Pokud je $Re > 2300$ jedná se o turbulentní proudění. Na obrázku jde vidět jak takové proudění vypadá.



Obrázek 1- Typy proudění v trubkách.

$$Re = \frac{w \times d}{\nu} [-]$$

Kde:

w	Rychlost vzduchu	[m/s]
d	Průměr potrubí	[m]
ν	Kinematická viskozita	[m ² /s]

Prouděním vzduchu v potrubí se jeho část mechanické energie přemění v teplo. To se projeví ztrátou tlaku hovoří se tedy o tlakových ztrátách.

Ztráty se dělí na:

- Třením: Děje se tak po celé délce potrubí
- Místní: Vznikají tam, kde je proud vzduchu narušen

Navrhování vzduchotechniky se dělá několika způsoby (metodami):

- Metoda rychlostí: Určí se rychlosti v hlavní a vedlejších větví, vypočítají se průměry objemového toku a tlakové ztráty. Nejvyšší tlakovou ztrátu pak určí jaký tlak musí ventilátor vydat.
- Metoda stálého tlakového spádu: Jedná se o udržení stálého tlaku, vychází se z průtoků a z rychlosti v hlavní větvi.
- Metoda zisků statického tlaku: V této metodě jde o stálý tlak před každou odbočkou musí být stálý tlak. Statický tlak na jednom konci úseku musí být stejný jako na druhém, proto jsou tlakové ztráty kryty statickým tlakem.
- Metoda dynamických změn

3.2. Topení rekuperací

Rekuperační topení je jedno z prvních druhů vytápění. Využívalo se hojně do konce 19. Století, kdy jej vytlačilo parní topení. Tehdy bylo od něj upuštěno a však nedávno se k rekuperaci zase vrátilo. Funguje tak, že se v ohništi nahřála akumulární vrstva k ní se potom z venku pustil vzduch, který se o akumulární vrstvu ohřál a pustil se dál do místnost. Neboli odpadní teplo neodejde bez užitku, ale ohřívá (předehřívá) přiváděný vzduch v rekuperačním výměníku získá většinu tepla z odpadového vzduchu. Větrat se musí a při klasickém větrání otevření okna jde energie, kterou jsme vynaložili na topení ven, tak právě to teplo, které by normálně uteklo ven. Dnes je to děláno většinou pomocí výměníku a větráků, které mají za účel výměnu vzduchu. Ventilátory jsou stěžejní prvek tohoto systému mohou dělat hluk, ale při použití nízkofrekvenčních měničů se hluk skoro ztrácí. Používají se především do nízko energetických a pasivních domů. Ty jsou totiž zatěsněné a je potřeba je větrat. Dle odborných článků takto uspoří až 30% tepelné energie. Dnes se rekuperace velmi často využívá v obydlích kde je z hygienických důvodů nutné větrání.

4. Teplovodní vytápění

Rozdělení teplovodního vytápění podle teploty:

- Do 60 °C
- Do 110 °C
- Nad 110 °C

Jednotrubkové:

- Bez obtoků těles
- S obtokem těles

Dvoutrubkové:

- Protiproudé

Souproudé

- Podle typu rozvodu:
- Horizontální
- Vertikální

Podle konstrukce expanzní nádoby:

- Soustava otevřená – expanzní nádoba otevřená, pro teploty do 95 °C
- Soustava uzavřená – expanzní nádoba uzavřená, pro teploty do 110 °C

Teplovodní vytápění se s oblibou používalo s přirozeným oběhem, kdy koloběh vody byl zapříčiněn rozdílným tlakem vody. Teplá voda vstoupala vzhůru a tím tlačila studenou vodu z radiátoru do topidla. Od toho se v dnešní době už upustilo, protože tento systém byl náročný na údržbu a trubky musely mít velký průměr, aby přirozená cirkulace mohla nastat. Dnes se již používá nucená cirkulace používá se vodní čerpadlo, to je pak hlavním prvkem v oběhu. Čili se musí vynakládat energie i na běh čerpadla. Jestli čerpadlo přestane tlačit vodu v oběhu tak hrozí propálení některých z částí otopné soustavy nebo jinému poškození. Teplovodnímu vytápění dlouho trvá, než se zahřeje na požadovanou teplotu. To ovšem platí u otopných soustav s přirozenou cirkulací, tam kde je použito čerpadlo to už neplatí. Ale zase dlouho po vypnutí vytápění ještě do ohřívaného prostoru vydává teplo. Další výhodou teplovodního vytápění je že poměrně snadno se dá regulovat. Nejčastěji se

požívají s teplotami mezi 70-90°C. Všeobecně platí, že pořizovací náklady jsou velké a je zapotřebí velké množství vody do otopného systému. Teplá voda se dá použít například do radiátorů, do podlahového vytápění, nebo jako vytápění do stěn. Je také výhodné z toho důvodu že se dá do něj snadno zapojit další topná tělesa než jen jeden kotel a to třeba solární kolektor nebo tepelné čerpadlo. Tento systém se vyznačuje bezhlučností.

Teplovodním okruhu se nejčastěji používají ocelové potrubí, nebo měděná potrubí. Ocelové potrubí se dobře svařuje, málo se roztahuje vlivem teploty. Jeho nevýhodou je že snadno podléhá korozi. Měděné potrubí má výbornou pevnost a hlavně odolnost vůči korozi má však větší teplotní roztažnost než ocelové trubky. Používají se také plastové trubky. Jejich velkou výhodou je že nekorodují a jsou velmi lehké. Mají však obrovskou teplotní roztažnost, mnohem větší než trubky z kovových materiálů. A dají se použít jen do teplot 110-140 °C.

5. Výměníky

Výměníky jak už jejich název říká slouží k výměně a to přímo k tepelné výměně. Jeho přesnější definice je: Slouží k výměně energii mezi soustavami a objekty o různých parametrech. Využívají se již po dlouhou dobu v různých energetických odvětvích tam, kde je potřeba mezi dvěma látkami vyměnit teplotu. Látky mohou být voda-voda, plyn-plyn a nebo je mezi sebou libovolně nakombinovat jako plyn-voda. Výměník nám může hlavní pracovní látku buď ohřívat, nebo také ochlazovat podle toho k jakému účelu ji potřebujeme.

Základní rozdělení:

- Rekuperativní: Látky které si mají předávat teplo jsou odděleny nějakou přepážkou(stěnou). Čili teplo se nepřenáší přímo, ale přes nějakou stěnu. Dají se dále rozdělit na souproudé, protiproudé a křížové.
- Regenerační: Fungují tím způsobem, že stěny výměníku jsou střídavě omývány s určitou časovou prodlevou a teplo které si předávají díky této stěně.
- Směšovací: Z převážné většiny se používá mezi kapalinou a plynem. Obě tyto média se smísí bez opětovného rozdělení.
- Tepelné trubice: Přenos tepla se děje díky fázovým změnám

Rozdělení podle užití:

Na ohřívání média

- Na ochlazování média

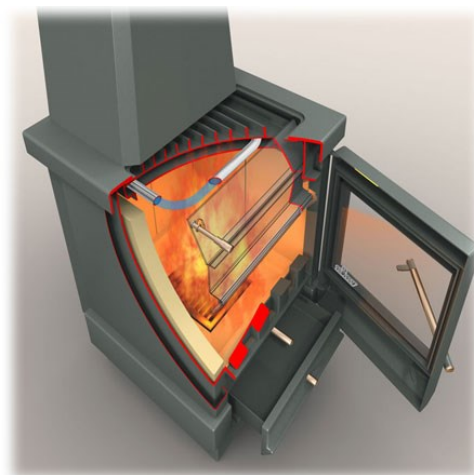
Podle způsobu proudění:

- Nenucená: Proudění média vzniklé za pomoci rozdílných hustot
- Nucená: Proudění vzniká za pomoci oběhového čerpadla

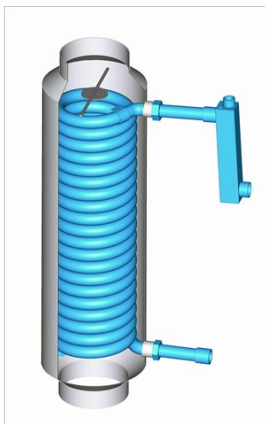
5.1. Teplovodní výměník v krbových kamnech

Teplovodní výměníky slouží k dodatečnému využití tepla, které vychází z kamen obsažené ve spalínách. Bez výměníku odchází komínem teplo, které není využité a to je škoda. Teplovzdušné výměníky se dělají nejčastěji v kombinaci spaliny voda. Kdy spaliny

odevzdávají teplo vodě, která může být dále rozvedena do radiátoru či boileru, nebo rozvedena do dalšího výměníku voda-vzduch, který funguje jako rozvod teplého vzduchu pro dodatečné vytápění a cirkulaci vzduchu v obydlí. Výměník se může nacházet buď za krbovou vložkou přímo v kamnech. Je to řešení takzvané dvouplášťové krbové vložky výměník je umístěn mezi nima. Toto řešení se používá pro teplovzdušné výměníky. Vložka může být z ocelového plechu vyložený šamotem nebo litinou. Toto řešení má však nevýhodu tu, že krbová vložka se po čase propálí a voda se vyleje do kamen, kde se smíchá s vyhořelým palivem (popelem) a vyleje se ven, což v případě, že se jedná o kamna nacházející se v místnosti, kde se pohybují osoby například obývací pokoj způsobí škody i na nábytku, který přijde do kontaktu s vodou smíchanou s popelem. Proto je třeba tuto vložku během topné sezóny občas zkontrolovat. Výměník se však nachází blízko ohně tak má vysokou účinnost. Pak se používá výměník, který se nachází v kouřovodu nad kamny. Výměník je konstruován, tak že je to vlastně trubka zohýbána do tvaru spirály o několika obtočích. Tento výměník je s účinností trochu níže než výměník umístěný v krbové vložce a však nehrozí to, že se voda dostane do kamen. Je třeba tento výměník čas od času vyčistit, protože spaliny proudí kolem výměníku a usazují se na něj tím pádem se prostup tepla snižuje a spolu s tím jde dolů i účinnost výměníku. Jelikož je výměník umístěn přímo v kouřovodu je čištění poměrně špinavá práce a opět pokud se kamna nachází v obytném prostoru je třeba opatrnosti při čištění, aby nebyl zašpiněný např. nábytek. To je asi jeho hlavní nevýhoda. Proto je i další řešení jak umístit výměník a to tak, že se neumístí dovnitř kouřovodu, ale vně. Vlastně trubka výměníku se omotá kolem kouřovodu, kde se schová pod ochranný plech, kvůli estetice. Jinak je to ten samý výměník jako ten co se nachází uvnitř. Jeho dodatečná montáž je jednodušší a nepotřebuje čistit. Jeho účinnost může být však o něco menší.



Obrázek 2-Typ výměníku krbová vložka [<http://www.krbari-kamnari.cz/kamna/krbova-kamna/s-vymenikem/teplovodni.php>]



Obrázek 3-Výměník uvnitř kouřovodu [<http://www.rolf.cz/produkt.aspx?id=1474>]



Obrázek 4 - Výměník vně kouřovodu

1.1. Bezpečnost při používání teplovodních výměníků

Při používání teplovodních výměníků se musí dodržovat určitá pravidla, aby nedošlo k havárii které by mohly mít za následek majetkové škody.

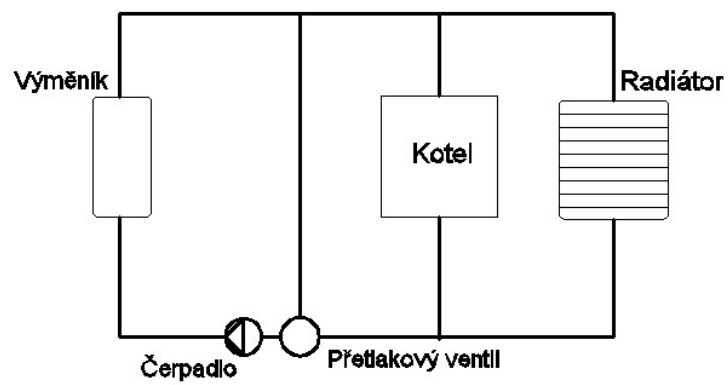
- Když se topí v kamnech je nutné, aby teplo, které se akumuluje ve výměníku bylo odebíráno. Tím je myšleno, že voda ve výměníku musí proudit jinak hrozí výbuch. Takže se nesmí dopustit toho, že voda přestane proudit.
- Je třeba v časových intervalech kontrolovat výměník popřípadě jej vyčistit.
- Tepelný výměník se musí řídit vyhláškou o topení č. 194/2007 Sb.

5.2. Součásti vodovodního okruhu

V dnešní době se používá teplovodní výměník v kamnech především jako druhotné vytápění. Jelikož si rodiny při stavbě domu pořízují krbová kamna především z estetického hlediska. Je velmi příjemné, když v místnosti hoří oheň, který uklidňuje a příjemně se u něj relaxuje, přivádí do rodiny pohodu. Obvykle až po splnění estetického hlediska řešíme účinek kamen pro vytápění. Je používán jako druhotné vytápění s oblibou protože, když už si v kamnech zatopíme pro pohodlí je škoda vzniklé teplo nevyužít pro ohřev vody i vzduchu a rozvést vzniklé teplo po obydlí a tím ušetřit. Záleží však, jaké palivo používáme. Dělá se to tak, že když se zatopí v kamnech, teplotní čidlo v místnosti zaznamená nárůst teploty a vypne primární topný systém a vytápí se sekundárním systémem kamny s výměníkem. Jeho výhoda je i třeba když se porouchá primární topný systém tak stále je jeden systém, který může vytápět obydlí.

Celý systém teplovodního výměníku musí dělat v celku okruh a měl by obsahovat:

- Čerpadlo – pro rozvod ohřáté vody z výměníku
- Termostat – který automaticky spíná vytápění
- Expanzní nádobu – vyrovnává tlak v okruhu
- Přetlakový ventil – bezpečnost když teplota přesáhne úměrnou hodnotu
- armatury



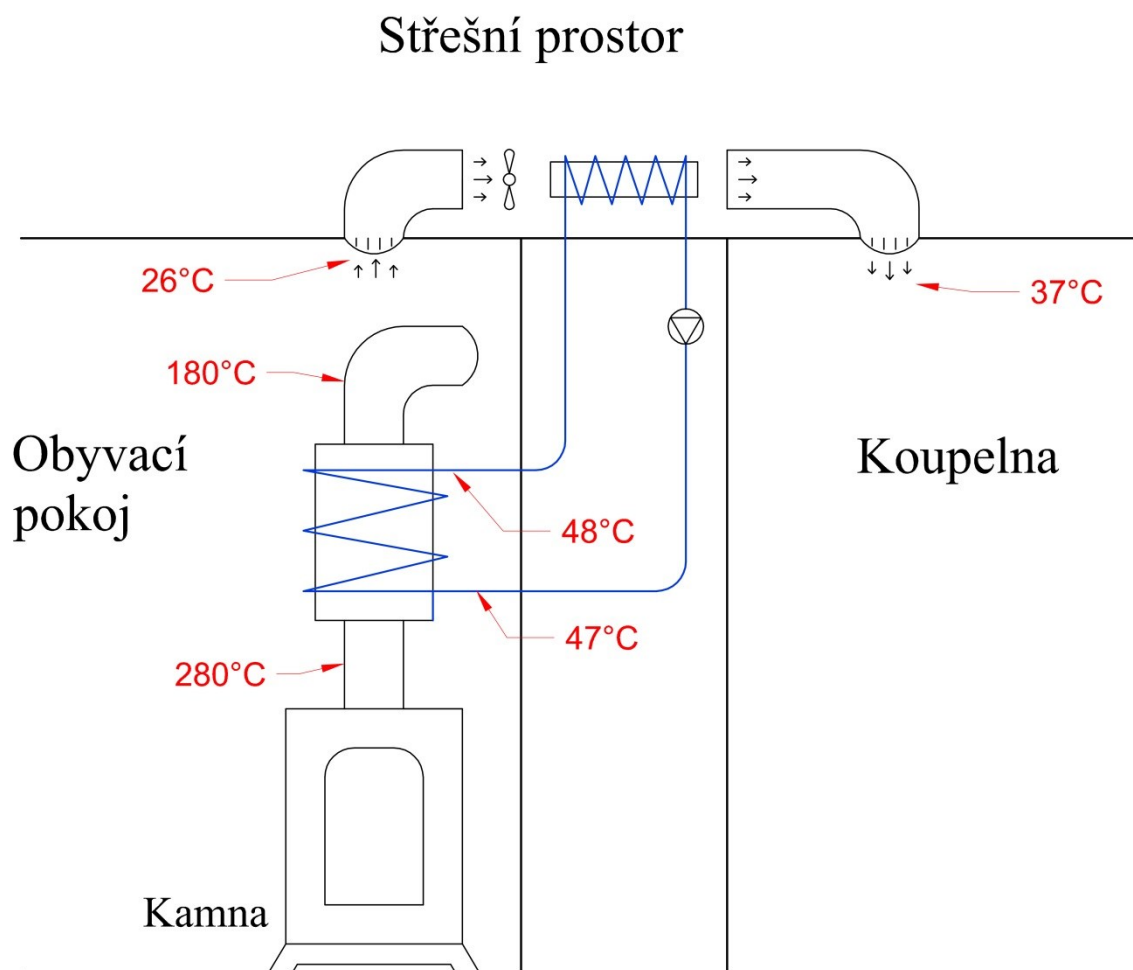
Obrázek 5 - Schéma zapojení vodovodního vytápění

6. Výběr vhodné varianty horkovodního výměníku

Výměník, co budu počítat je ten, který jsme si udělali sami doma. Jeho hlavní důvod proč jsme se rozhodli udělat si výměník je, že máme malá krbová kamna v obývacím pokoji pro lehké přitopení jenže, když se v kamnech zatopí, je v místnosti nepříjemná vysoká teplota a tedy nedá se mluvit o tepelné pohodě. Proto jediná rozumná možnost byla, že vycházející spaliny by se měli ochladit. Aby teplo odebrané spalinám nešlo lidově řečeno pánu bohu do oken, vymysleli jsme využití tepla pro ohřev vody, která má za úkol ohřívat vzduch ve vzduchovodu, ten je umístěn na půdě našeho rodinného domu. Vzduchovod je veden z obývacího pokoje do koupelny. V obývacím pokoji nasává vzduch z prostoru nad kamny a dále jej vede do koupelny. Takto to máme udělané u nás doma v rodinném domku a z toho taky budu vycházet, abych zjistil, jestli výměník má význam v takto zvoleném systému. Naměřil jsem teploty, z kterých budu vycházet ve výpočtech, abych mohl stanovit výkon, které jsem sepsal do tabulky Naměřené teploty a zakreslil do schémata.

Tabulka 1 - Naměřené teploty

Značka	Hodnota	Jednotka
$t_{vstup,spaliny}$	280	[°C]
$t_{výstup,spaliny}$	180	[°C]
$t_{vstup,voda}$	47	[°C]
$t_{výstup,voda}$	48	[°C]
$t_{vstup,vzduchovod}$	26	[°C]
$t_{výstup,vzduchovod}$	37	[°C]



Obrázek 6 - Schéma systému zapojení výměníku

6.1. Charakteristika vzduchovodu

Vzduchovod je dělaný z hliníkového plechu určený pro vedení vzduchu jeho délka je 5m. Jeho izolace je tvořena miralonem o tloušťce 12mm. Po jeho délce nejsou žádné kolena kromě sání a výstupu.

Pro rozvod teplého vzduchu je použit klasický koupelnový ventilátor určený pro dopravování vzduchu v domácích vzduchovodech.



Obrázek 7 - Vzduchový ventilátor [http://www.ventilatory.cz/ventilator-potrubni-maly-_ventilator_-217.html]

Tabulka 2 - Specifikace ventilátoru

Veličina	Hodnota	Jednotka
Průtok vzduchu	200	[m ³ /h]
Otáčky	2300	[1/min]
Max teplota	45	°C

6.2. Použité krbové kamna

Kamna jsou použita od firmy Thorma typ Milano. Jsou to malé okrasné kamna za účelem využití v obývacích pokojích, nebo v jakýkoliv místech pro vytopení malého prostoru. Spíše k sezonnímu použití než k trvalému využití.



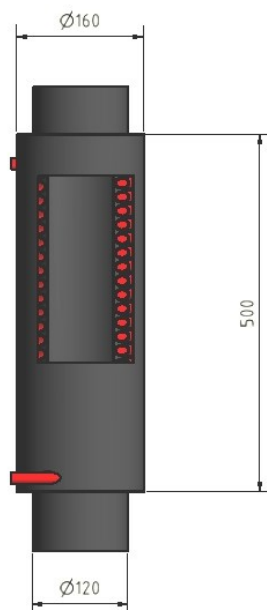
Obrázek 8 - Krbová kamna s nainstalovaným výměníkem

Tabulka 3 - Specifikace Krbových kamen Milano

Veličina	Hodnota	Jednotka
Typ:	Milano (F 1451 M)	[–]
Výška:	0,906	[m]
Šířka:	0,378	[m]
Hloubka:	0,360	[m]
Průměr kouřovodu:	0,12	[m]
Váha:	65	[kg]
Max. dávka dřeva:	1,7	[kg]
Max. dávka briket:	1,3	[kg]
Výkon:	5kW	[kW]

6.3. Použitý výměník

Jako vhodnou variantu jsem vybral spalínový horkovodní výměník ve tvaru spirály umístěný na kouřovodu. Je to podstatě obdobná varianta jako výměník umístěný v kouřovodu, jen je kolem něj. Jeden z hlavních důvodů proč jsem se rozhodl pro jeho volbu je ten, že je snazší na montáž v domácích podmínkách. Také si slibuji od této varianty skoro bez údržbový provoz jelikož je výměník umístěný mimo prostor, kde proudí spaliny, proto výměník nebude zanášen sazí. Materiál trubky která je zvolil měď, je to nejčastěji používaný materiál v topenářství a je snadno zpracovatelná. Je přímo pro obdobné manipulace navržená čili snadno tvarovatelná. Kolem spirály je dán ochranný plech bez další izolace.



Obrázek 9 - Schéma výměníku

6.4. Průtok vody ve výměníku

Výměník je zapojený do vodního oběhu. Aby v oběhu mohla proudit voda je do něj zapojeno malé čerpadlo. V tomto případě je to čerpadlo typu CP 43 od firmy Circulating Pumps sídlící v Anglii. Má několik provozních režimů 1-3 a já volím režim 1. Parametry pro tento režim jsou popsány v tabulce 4.



Obrázek 10 - Čerpadlo CP43

Tabulka 4 - Specifikace čerpadla k vodovodnímu výměníku

Veličina	Hodnota	Jednotka
Průtok	750	$[l \times h^{-1}]$
Otáčky	1150	$[1 \times min^{-1}]$

7. Výpočtová část

7.1. Stechiometrický výpočet spalín:

Jako palivo jsem zvolil dva roky sušené bukové dřevo, abych se přiblížil k co nejoptimálnějšímu výsledku výpočtu spalín.

Buk

Řadí se do kategorie listnatých stromů. Jako palivo se bukové dřevo považuje za jedno z nejkvalitnějších, pro krbová kamna, velice vhodné díky své vysoké výhřevnosti a dlouhému hoření. Má klidný zářivý plamen, rychle vysychá a snadno se zapaluje je velice tvrdé. Mělo by se schovávat na krytém místě, kde proudí vzduch jelikož na dešti rychle trouchniví a tím přicházíme o dobrou výhřevnost.

Složení:

Značka	Hodnota	
C^r	42%	0,42
H^r	5%	0,05
N^r	0,1%	0,001
O^r	31,9%	0,391
W^r	20%	0,2
A^r	1%	0,01
n	2,4	
v	1,02	
Q^r_i	15,8	$[MJ \times kg^{-1}]$

7.1.1. Výpočet množství suchého a vlhkého vzduchu:

Stechiometrický výpočet kyslíku:

$$V_{o_2,t} = \frac{22,4}{12} \times C^r + \frac{22,4}{4} \times H^r - \frac{22,4}{32} \times O_2^r \quad (1)$$

$$V_{o_2,t} = \frac{22,4}{12} \times 0,42 + \frac{22,4}{4} \times 0,05 - \frac{22,4}{32} \times 0,319 = 0,8407 [m_N^3 \times Kg_{pal}]$$

Množství teoretického vzduchu suchého:

$$V_{vz,t}^s = \frac{100}{21} \times V_{O_2,t} = \frac{1}{0,21} \times V_{O_2,t} \quad (2)$$

$$V_{vz,t}^s = \frac{1}{0,21} \times 0,8407 = 4,003 \left[\frac{m_{N,vz}^3}{Kg_{pal}} \right]$$

Skutečné množství vzduchu suchého:

$$V_{vz,sk}^s = n \times V_{vz,t}^s \quad (3)$$

$$V_{vz,sk}^s = 2,4 \times 4,003 = 9,607 [m_N^3 \times Kg_{pal}]$$

Skutečné množství vzduchu vlhkého:

$$V_{vz,sk}^v = v \times V_{vz,sk}^s \quad (4)$$

$$V_{vz,sk}^v = 1,02 \times 9,607 = 9,895 [m_N^3 \times Kg_{pal}]$$

7.1.2. Výpočet skutečných vlhkých spalin:

Spaliny teoretické suché:

$$V_{sp,t} = V_{CO_2} + V_{N_2} + \frac{100}{79} \times V_{vz,t}^s \quad (5)$$

$$V_{sp,t} = \frac{22,4}{12} \times 0,42 + \frac{22,4}{28} \times 0,001 + \frac{100}{79} \times 4,003 = 3,947 [m_N^3 \times Kg_{spal}]$$

Spaliny skutečné suché:

$$V_{sp,sk}^s = V_{sp,t} + (n - 1) \times V_{vz,t}^s \quad (6)$$

$$V_{sp,sk}^s = 3,947 + (2,4 - 1) \times 4,003 = 9,5512 [m_N^3 \times Kg_{spal}]$$

Množství vody ve spalinách:

$$V_{H_2O} = \frac{44,8}{4} \times H^r + \frac{22,4}{18} \times W^r + (\nu - 1) \times V_{vz,sk}^s \quad (7)$$

$$V_{H_2O} = \frac{44,8}{4} \times 0,05 + \frac{22,4}{18} \times 0,2 + (1,02 - 1) \times 9,607 = 1,001 [m_N^3 \times Kg_{spal}]$$

Vlhké spaliny:

$$V_{sp,sk}^v = V_{sp,sk}^s + V_{H_2O} \quad (8)$$

$$V_{sp,sk}^v = 9,5512 + 1,001 = 10,551 [m_N^3 \times Kg_{spal}]$$

Výpočet jednotlivých složek:

Objemové zastoupení složek paliva:

$$V_{CO_2} = \frac{22,4}{12} \times C^r \quad (9)$$

$$V_{CO_2} = \frac{22,4}{12} \times 0,42 = 0,784$$

$$V_{N_2} = \frac{22,4}{28} \times N^r + 0,79 * V_{vz,sk}^s \quad (10)$$

$$V_{N_2} = \frac{22,4}{28} \times 0,001 + 0,79 * 8,006 = 6,325$$

$$V_{O_2} = 0,21 \times (n - 1) \times V_{vz,t}^s \quad (11)$$

$$V_{O_2} = 0,21 \times (2 - 1) \times 4,003 = 0,840$$

Procentuálně:

$$\omega_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{V_{sp,sk}^v} \quad (12)$$

$$\omega_{CO_2} = \frac{0,784}{10,551} = 0,074 \rightarrow 7,4[\%]$$

$$\omega_{N_2} = \frac{V_{N_2}}{V_{sp,sk}^v} \quad (13)$$

$$\omega_{N_2} = \frac{7,59}{10,551} = 0,72 \rightarrow 72[\%]$$

$$\omega_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_{sp,sk}^v} \quad (14)$$

$$\omega_{O_2} = \frac{1,177}{10,551} = 0,112 \rightarrow 11,2[\%]$$

$$\omega_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_{sp,sk}^v} \quad (15)$$

$$\omega_{H_2O} = \frac{1,001}{10,551} = 0,094 \rightarrow 9,4[\%]$$

Součet prvků dělá 100%.

7.2. Výpočet spotřeby paliva v kamnech:

Pro další výpočty výměníku je dobré znát jeho spotřebu paliva.

Vstupní hodnoty:

Účinnost kamen: $\eta=70$ [%]

Sálavý výkon: $Q_{sál}=5$ [kW]

Výhřevnost paliva: $Q_{\text{pal}}=15800$ [kJ]

Do vzorce započítám i výkon zbytkový co jde komínem a zůstává v popelu. To vypočtu, tak že jestli 5kw je 70% výkonu tak 30% je výkon, který hledám.

$$Q_{\text{zbyt}} = \left(\frac{Q_{\text{sál}}}{\eta_{\text{sál}}} \right) \times \eta_{\text{zbyt}} \quad (16)$$

$$Q_{\text{zbyt}} = \left(\frac{15800}{70} \right) \times 30 = 2,14 \text{ [kW]}$$

7.2.1. Hmotnostní průtok paliva:

$$\dot{m}_{\text{pal}} = \frac{Q_{\text{aál}} + Q_{\text{zbyt}}}{Q_{\text{pal}} \times \eta_{\text{zbyt}}} \quad (17)$$

$$\dot{m}_{\text{pal}} = \frac{5 + 2,14}{15,2 \times 10^6 \times 0,70} = 0,00067 \text{ [Kg} \times \text{s}^{-1}\text{]}$$

7.3. Výpočet rychlosti spalín v kouřovodu:

Abych mohl vypočítat rychlost spalín, tak první vypočtu objemový průtok spalín, který dále budu potřebovat ve výpočtech.

Výpočet je za normálních podmínek.

$$V_n = V_{\text{sp,sk}}^v \times \dot{m}_{\text{pal}} \quad (18)$$

$$V_n = 10,55 \times 0,00067 = 0,00706 \text{ [m}^3 \times \text{s}^{-1}\text{]}$$

Ze stavové rovnice vyjádřím skutečný objemový průtok.

$$\frac{V_{\text{sk}} \times P_{\text{sk}}}{T_{\text{sk}}} = \frac{V_n \times P_n}{T_n} \quad (19)$$

$$P_n = 101325 \text{ [Pa]}$$

$$\begin{aligned}
P_{sk} &= 98000 & [Pa] \\
T_n &= 273 & [K] \\
T_{sk} &= 553 & [K]
\end{aligned}$$

Ze vzorce 19 vyjádřím V_{sk} :

$$\begin{aligned}
V_{sk} &= \frac{P_n}{P_{sk}} \times V_n \times \frac{T_{sk}}{T_n} \\
V_{sk} &= \frac{98000}{101325} \times 0,00706 \times \frac{553}{273} = 0,0148[m^3 \times s^{-1}]
\end{aligned}$$

Rychlost spalin už jednoduše dopočítám:

$$W_{spal} = \frac{V_{sk}}{S_{kouř}} \quad (20)$$

Do vzorce 20 musím dopočíst plochu, kterou má průřez kouřovodu.

$$\begin{aligned}
D_{kouř} &= 0,12[m] \\
S_{kouř} &= \frac{\pi \times D^2}{4} \\
S_{kouř} &= \frac{\pi \times 0,12^2}{4} = 0,0113
\end{aligned} \quad (21)$$

Dosadím:

$$W_{spal} = \frac{0,0148}{0,0113} = 1,309[m \times s^{-1}]$$

7.4. Teplota a výkon výměníku:

Ze zjištěných hodnot zjistím teplotu a výkon teplovodního výměníku. Budu vycházet z teplot spalin a z vypočteného objemového průtoku spalin. Teploty spalin jsem naměřil na kouřovodu.

$$\begin{aligned}
\text{Teplota spalin před výměníkem:} & \quad t_{spal1} = 280 & [^{\circ}C] \\
\text{Teplota spalin za výměníkem:} & \quad t_{spal2} = 180 & [^{\circ}C] \\
\text{Měrná tepelná kapacita spalin:} & \quad c_{p_{spal}} = 1,37 & [KJ \times Kg^{-1} \times K^{-1}]
\end{aligned}$$

Hmotnostní průtok spalin $V_n = 0,00706$ $[m^3 \times s^{-1}]$
(vzorec 18):

Musím vypočíst rozdíl teplot Δt :

$$\Delta t_{spal} = t_{spal1} - t_{spal2} \quad (22)$$

$$\Delta t_{spal} = 280 - 180 = 100[^\circ C]$$

7.4.1. Výpočet výkonu:

$$Q_{spal} = cp_{spal} \times V_n \times \Delta t_{spal} \quad (23)$$

$$Q_{spal} = 1,37 \times 0,00706 \times 100 = 0,827[kW]$$

Pro úplný výkon výměníku musím i přičíst teplotu, kterou sálá do okolí svou plochou.

Vstupní hodnoty:

Výška	$h = 0,5$	$[m]$
Průměr	$d = 0,15$	$[m]$
Součinitel přestupu tepla	$\alpha = 12$	$[W \times m^{-2} \times K^{-1}]$
Teplota povrchu výměníku	$t_{povrch} = 50$	$[^\circ C]$

Výpočet plochy výměníku:

$$S_{vým} = \pi \times d \times h \quad (24)$$

$$S_{vým} = \pi \times 0,15 \times 0,5 = 0,235[m^2]$$

Sálavý výkon:

$$Q_{sál} = S_{vým} \times \alpha \times t_{povrch} \quad (25)$$

$$Q_{sál} = 0,235 \times 12 \times 50 = 141,4[W]$$

Výkon, který se dostane do vody je o sálavý výkon menší:

$$Q_{vým} = Q_{spal} - Q_{sál} \quad (26)$$

$$Q_{vým} = 827 - 141,4 = 686,4[W]$$

7.4.2. Výpočet rozdílu teploty na vstupu a výstupu výměníku:

Vstupní hodnoty:

Měrná tepelná kapacita vody: $cp_{vody} = 4180 \quad [J \cdot Kg^{-1} \times K^{-1}]$

Průtok vody: $m_{vody} = 0,2 \quad [kg \times s^{-1}]$

Vycházím ze vzorce:

$$Q_{vým} = cp_{vody} \times m_{vody} \times \Delta t \quad (27)$$

$$\Delta t = \frac{Q_{vým}}{cp_{vody} \times m_{vody}}$$

$$\Delta t = \frac{686}{4180 \times 0,2} = 0,99[^\circ C]$$

7.5. Tepelná bilance:

Zjistil jsem, že výměník má výkon 686 W. Teď zjistím jaký vliv má tento výkon na ohřev vzduchu ve vzduchovodu. Budu vycházet z tepelné bilance výměníku a vzduchovodu.

Výkon teplovodního výměníku $Q_{vým} = 686 \quad [W]$

(vzorec26):

Měrná tepelná kapacita vzduchu $cp_{vzduch} = 1005 \quad [J \times Kg^{-1} \times K^{-1}]$

(při teplotě 30°C):

Dodávané množství vzduchu $V_{vzduch(větrák)} = 200 \quad [m^3 \times h^{-1}]$

větrákem:

Hustota vzduchu: $\rho_{vzduch} = 1,28 \quad [Kg \times m^{-3}]$

Přepočtu dodávané množství vzduchu na $[Kg \cdot s^{-1}]$.

$$V_{vzduch(větrák)} = \frac{V_{vzduch(větrák)}}{3600} \quad (28)$$

$$V_{vzduch(větrák)} = \frac{200}{3600} = 0,055[m^3 \times s^{-1}]$$

$$V_{vzduch} = V_{vzduch(větrák)} \times \rho_{vzduch} \quad (29)$$

$$V_{vzduch} = 0,055 \times 1,28 = 0,071 [Kg \times s^{-1}]$$

Tepelná bilance:

$$Q_{vzduch} = Q_{vým} \quad (30)$$

$$V_{vzduch} \times cp_{vzduch} \times (t_{výstup} - t_{vstup}) = Q_{vým}$$

$$t_{výstup} = \frac{Q_{vým}}{V_{vzduch} \times cp_{vzduch}} + t_{vstup}$$

$$t_{výstup} = \frac{686}{0,071 \times 1005} + 26 = 37,55 [^{\circ}C]$$

7.6. Ztráta ve vzduchovodu:

Vzduchovod je poměrně dlouhý 5m, takže by mohl mít i nějakou ztrátu. Tu musím taky zahrnout do výpočtu, abych se dostal k co nejpřesnějším hodnotám.

Potřebuju znát α na straně uvnitř vzduchovodu a vně vzduchovodu. Začnu počítat uvnitř vzduchovodu. Zjistím jaký druh proudění je ve vzduchovodu:

Vstupní hodnoty:

Rychlost vzduchu ve vzduchovodu: $w = 7,08$ $[m \times s^{-1}]$

Průměr potrubí: $D = 0,1$ $[m]$

Viskozita vzduchu: $\nu = 1,696 \times 10^{-5}$ $[m^2 \times s^{-1}]$

Reynoldsovo kritérium:

$$Re = \frac{w \times D}{\nu} \quad (31)$$

$$Re = \frac{7,08 \times 0,1}{1,696 \times 10^{-5}} = 41728 [-]$$

Z toho:

$$41728 > 2300$$

Jde o Turbulentní proudění. Z toho dále budu počítat abych dopočetl α .

Prantlovo kritérium pro vzduch: $Pr = 0,699$ $[-]$

Výpočet Nuseltova kritéria pro turbulentní proudění v trubkách:

$$Nu = 0,021 \times Re^{0,8} \times Pr^{0,43} \times \varepsilon_t \times \varepsilon_r \times \varepsilon_L \quad (32)$$

Opravné součinitele volím 1.

$$Nu = 0,021 \times 41728^{0,8} \times 0,699^{0,43} \times 1 = 89,47[-]$$

Součinitel tepelné vodivosti pro vzduch: $\lambda = 0,0276$ $[W \times m^{-1} \times K^{-1}]$

$$Nu = \frac{\alpha \times D}{\lambda} \quad (33)$$

Ze vzorce 33 vyjádřím α :

$$\alpha = \frac{Nu \times \lambda}{D}$$

$$\alpha_{vtubce} = \frac{89,47 \times 0,0276}{0,1} = 24,694 [W \times m^{-2} \times K^{-1}]$$

Výpočet alfy vně vzduchovodu:

Teplota vzduchu na půdě $t_{p\u00fada} = 15$ $[^{\circ}C]$

Teplota vzduchu nasávaného: $t_{vzduchovod} = 26$ $[^{\circ}C]$

Viskozita: $\nu = 1,417 \times 10^{-5}$ $[m^2 \times s^{-1}]$

Gravitační zrychlení: $g = 9,81$ $[m \times s^{-1}]$

Musím dopočíst rozdíl teplot:

$$\Delta t = t_{vzduchovod} - t_{p\u00fada} \quad (34)$$

$$\Delta t = 26 - 15 = 9 [^{\circ}C]$$

Tepelnou roztažnost:

$$\gamma = \frac{1}{273 + t_{urč}} \quad (35)$$

$$t_{urč} = \frac{t_{vzduchovod} + t_{přida}}{2} \quad (36)$$

$$t_{urč} = \frac{26 + 15}{2} = 20,5[^{\circ}C]$$

$$\gamma = \frac{1}{273 + 20,5} = 0,003407$$

Dosadím:

$$Gr = \frac{g \times D^3}{\nu^2} \times \gamma \times \Delta t \quad (37)$$

$$Gr = \frac{9,81 \times 0,1^3}{(1,417 \times 10^{-5})^2} \times 0,003407 \times 9 = 14,98 \times 10^5$$

Odpovídající Prantlovo kritérium k proudícímu vzduchu:

$$\text{Prantlovo kritérium} \quad Pr = 0,705$$

Výpočet podmínky:

$$Gr \times Pr \quad (38)$$

$$(14,98 \times 10^5) \times 0,705 = 10,56 \times 10^5$$

Z tabulky platí:

$$5 \times 10^2 < 10,56 \times 10^5 < 2 \times 10^7$$

Pro tohle číslo jsou voleny $c=0,54$ a $n=0,25$.

Nuseltovo kritérium:

$$Nu = c(Gr \times Pr)^n \quad (39)$$

$$Nu = 0,54((14,98 \times 10^5) \times 0,705)^{0,25} = 18,089$$

Vypočítám α :

$$\alpha = \frac{Nu \times \lambda}{D} \quad (40)$$

$$\alpha_{p\ddot{u}da} = \frac{18,089 \times 0,0276}{0,1} = 4,35 [W \times m^{-2} \times K^{-1}]$$

7.6.1. Hmotový tok vzduchu:

Vstupní hodnoty:

Plocha vzduchovodu:	$S_{vzduch} = 0,00785$	$[m]$
Hustota vzduchu:	$\rho_{vzduchu} = 1,28$	$[Kg \times m^{-3}]$
Rychlost vzduchu:	$w_{vzduch} = 7,08$	$[m \times s^{-1}]$

$$m_{vzduch} = S_{vzduch} \times \rho_{vzduchu} \times w_{vzduch} \quad (41)$$

$$m_{vzduch} = 0,00785 \times 1,28 \times 7,08 = 0,033 [Kg \times s^{-1}]$$

7.6.2. Součinitel prostupu tepla trubkou:

Vstupní hodnoty:

Tepelná vodivost trubky:	$\lambda_{hliník} = 200$	$[W \times m^{-2} \times K^{-1}]$
Tepelná vodivost izolace:	$\lambda_{izolace} = 0,04$	$[W \times m^{-2} \times K^{-1}]$
Světelnost trubky:	$d_1 = 0,1$	$[m]$
Průměr s materiálem:	$d_2 = 0,1006$	$[m]$
Průměr s izolací:	$d_3 = 0,1246$	$[m]$

$$k = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_{vtubce} \times d_1} + \frac{1}{2 \times \lambda_{hliník}} \times \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2 \times \lambda_{izolace}} \times \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_{p\ddot{u}da} \times d_3}} \quad (42)$$

$$k = \frac{\pi}{\frac{1}{24,694 \times 0,1} + \frac{1}{2 \times 200} \times \ln \frac{0,1006}{0,1} + \frac{1}{2 \times 0,04} \times \ln \frac{0,1246}{0,1006} + \frac{1}{4,34 \times 0,1246}}$$

$$= 0,640 [W \times m^{-2} \times K^{-1}]$$

7.6.3. Výpočet na kolik klesne teplota na koci vzduchovodu bez ohřevu vodou:

Vstupní hodnoty:

Teplota na půdě:	$t_{p\u016fda} = 15$	[°C]
Teplota sání:	$t_{vzduch} = 26$	[°C]
Délka potrubí:	$l = 5$	[m]
Měrná tepelná kapacita vzduchu:	$cp_{vzduch} = 1005$	[J × Kg ⁻¹ × K ⁻¹]

$$t_{konec} = t_{p\u016fda} + (t_{vzduch} - t_{p\u016fda}) \times e^{\frac{k \times l}{m \times cp}} \quad (43)$$

$$t_{konec} = 15 + (26 - 15) \times e^{\frac{0,640 \times 5}{0,033 \times 1005}} = 25,45[°C]$$

Rozdíl vstupní a výstupní teplota:

$$\Delta t = t_{vzduch} - t_{konec} \quad (44)$$

$$\Delta t = 26 - 25,45 = 0,65[°C]$$

Ztráta teploty ve vzduchovodu je pouhých 0,65[°C] tuto ztrátu odečtu z vypočtené teploty, abych dostal skutečnou teplotu na konci vzduchovodu.

$$t_{skut} = t_{výstup} - \Delta t \quad (45)$$

$$t_{skut} = 37,55 - 0,65 = 36,9[°C]$$

Vypočtena teplota je ovšem neměřitelná v běžných podmínkách. Zaokrouhlím ji tedy na 37°C. A to je teplota co jsem aji naměřil na konci vzduchovodu.

Závěr:

Výměník, jenž jsem počítal, podle naměřených teplot a vstupního výkonu kamen 5kW má podstatný význam pro ochlazení spalin a tím pádem snížení vysoké teploty v místnosti, kde se zatápí tak i dodává dostatečný výkon v dané soustavě. Tedy ověřil jsem, že se vyplatí se použít výměník na malá krbová kamna. Vypočetl jsem výkon výměníku 686W. To je výkon pro ohřátí vzduchu ve vzduchovodu z teploty 26°C na 37°C. Voda ve výměníku má 48 °C.

Vypočtené řešení je navrženo pro ohřev vzduchu do jedné místnosti. Důvodem pro stavbu výměníku bylo ochlazení spalin a snížení teploty v obývací místnosti, kde jsou krbová kamna umístěna. Jako přínos tohoto řešení je dodatečné ohřívání koupelny. Nalezla se i ekonomičtější a energeticky výhodnější varianta přímého ohřevu vzduchu, bez vodního výměníku. Tato varianta nebyla ale propočítána. Ani není v daném případě vhodná z důvodu větších prostorových nároku, které jsou v obývacím pokoji omezené.

Tato bakalářské práce mi dala spousty důležitých vědomostí, jak obdobné výměníky fungují a jak se dají použít do otopných systémů. Doufám, že tyto nabyté znalosti využiju i v budoucnu a tato práce pomůže i čtenářům.

Použitá literatura:

[1] Moderní a úsporné vytápění domu: Přehled možností. [online] 2011

[cit. 201-03-15].

Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/moderni-a-usporne-vytapeni-domu-prehled-moznosti.aspx>

[2] Teplovzdušné vytápění obytných budov. [online] 2001 [cit. 2013-02-12].

Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/620-teplovzdušne-vytapeni-obytnych-budov>

[3] Topení, větrání, rekuperace v pasivních domech. [online] 2008 [cit. 2013-02-18].

Dostupné z: <http://www.vyjimecnedomy.cz/topeni-vetrani-rekuperace>

[4] Teplovodní krbová kamna s výměníkem- spojení kamen, kotle a krbu. [online] 2013 [cit. 2013-03-05] Dostupné z: <http://www.krbari-kamnari.cz/kamna/krbova-kamna-s-vymenikem/teplovodni.php>

[5] JV- Krby. [online] 2008 [cit. 2013-04-05].

Dostupné z: <http://www.jv-krby.cz/krbova-kamna-s-vymenikem/krbova-kamna-anna-maxima-s-vymenikem-krkv-nova-v3499.htm>

[6] Tepelná pohoda a nepohoda. [online] 2000 [cit. 2013-03-20].

Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>

[7] Teplovodní vytápění. [online] 2008 [cit. 2013-02-18].

Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/systemy-vytapeni/teplovodni.php>

[8] CirculatingPumps [online] 2005 [cit. 2013-04-05]

Dostupné z:

http://www.plumbcenter.co.uk/wcsstore7.00.00.656/ExtendedSitesCatalogAssetStore/images/products/AssetPush/DTP_AssetPushHighRes/std.lang.all/ti/on/CPumps_Compact_Installation.pdf

[9] Větrání-Vzduchovody pro rovnoměrný přívod vzduchu [online] 2012

[cit. 2013-04-04]

Dostupné z:

http://users.fs.cvut.cz/~schwajan/schwarzer_soubory/Soubory/Vzduchovody/vzduchovody2.pdf

[10] KADLEC, Z.[i] Průvodce sdílením tepla pro požární specialisty.[/i] Ostrava: SPBI Spektrum. 2009. 100 s.

ISBN 978-80-7385-061-6.

[11] BLAHOŽ, V., KADLEC, Z.[i] Základy sdílení tepla.[/i] 2.vyd. Ostrava: SPBI Spektrum, 2000. 110 s.

ISBN 80-902001-1-7.[12] DLOUHÝ, T.[i] Výpočty kotlů a spalinových výměníků.[/i] Praha: ČVUT, 2002.

Seznam Příloh:

Příloha 1: Fyzikální vlastnosti suchého vzduchu při tlaku 101325Pa

Příloha 2: Fyzikální vlastnosti nasycené vody a nasycené vodní páry

Příloha 3: Volná konvekce

Příloha 4: turbulentní proudění trubkami

Příloha 1: Fyzikální vlastnosti suchého vzduchu při tlaku 101325Pa

Tabulka 1

**Fyzikální vlastnosti suchého vzduchu při tlaku 101325 Pa
(760 torr)**

t °C	ρ kg.m ⁻³	c_p kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹	$\lambda \cdot 10^2$ W.m ⁻¹ .K ⁻¹	$a \cdot 10^6$ m ² .s ⁻¹	$\eta \cdot 10^6$ Pa.s	$\nu \cdot 10^6$ m ² .s ⁻¹	Pr
-40	1,515	1,013	2,12	13,8	15,2	10,04	0,782
-20	1,395	1,009	2,28	16,2	16,2	12,79	0,716
0	1,293	1,005	2,44	18,8	17,2	13,28	0,707
20	1,205	1,005	2,59	21,4	18,1	15,06	0,703
40	1,128	1,005	2,76	24,3	19,1	16,96	0,699
60	1,060	1,005	2,90	27,6	20,1	18,97	0,696
80	1,000	1,009	3,05	30,2	21,1	21,09	0,692
100	0,945	1,009	3,21	33,6	21,9	23,13	0,688
120	0,898	1,009	3,34	36,8	22,8	25,45	0,686
140	0,854	1,013	3,49	40,3	23,7	27,80	0,684
160	0,815	1,017	3,64	43,9	24,5	30,09	0,682
180	0,779	1,022	3,78	47,5	25,3	32,49	0,681
200	0,746	1,026	3,93	51,4	26,0	34,85	0,680
250	0,674	1,038	4,27	61,0	27,4	40,61	0,677
300	0,615	1,047	4,60	71,6	29,7	48,33	0,674
350	0,566	1,059	4,91	81,9	31,4	55,46	0,676
400	0,524	1,068	5,21	93,1	33,0	63,09	0,678
500	0,456	1,093	5,74	115,3	36,2	79,38	0,687
600	0,404	1,114	6,22	138,3	39,1	96,89	0,699
700	0,362	1,135	6,71	163,4	41,8	115,40	0,706
800	0,329	1,156	7,18	188,8	44,3	134,80	0,713
900	0,301	1,172	7,63	216,2	46,7	155,10	0,717
1000	0,277	1,185	8,07	245,9	49,0	177,10	0,719
1100	0,257	1,197	8,50	276,2	51,2	199,30	0,722
1200	0,239	1,210	9,15	316,5	53,5	233,70	0,724

Příloha 2: Fyzikální vlastnosti nasycené vody a nasycené vodní páry

Fyzikální vlastnosti nasycené vody a nasycené vodní páry

t °C	c_p (kJ.kg ⁻¹ .K ⁻¹)		$\lambda \cdot 10^2$ (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)		$\eta \cdot 10^6$ (Pa.s)		Pr (-)	
	voda	pára	voda	pára	voda	pára	voda	pára
0	4,222		55,1		1788		13,67	
20	4,183		59,9		1004		7,02	
40	4,174		63,5		653,3		4,31	
60	4,179		65,9		469,9		2,98	
80	4,195		67,4		355,1		2,21	
100	4,22	2,135	68,3	2,37	282,5	11,97	1,75	1,08
120	4,25	2,206	68,6	2,59	237,4	12,85	1,47	1,09
140	4,287	2,315	68,5	2,79	201,1	13,54	1,26	1,12
160	4,346	2,479	68,3	3,01	173,6	14,32	1,1	1,18
180	4,417	2,709	67,4	3,27	153	15,11	1	1,25
200	4,505	3,023	66,3	3,55	136,4	15,99	0,93	1,36
220	4,614	3,408	64,5	3,9	124,6	16,87	0,89	1,47
240	4,756	3,881	62,8	4,29	114,8	17,76	0,87	1,61
260	4,949	4,486	60,5	4,8	105,9	18,84	0,87	1,75
280	5,23	5,234	57,4	5,49	98,1	19,91	0,9	1,9
300	5,736	6,28	54	6,27	91,2	21,29	0,97	2,13
320	6,574	8,206	50,6	7,51	85,3	22,86	1,11	2,5
340	8,165	12,85	45,7	9,3	77,5	25,21	1,39	3,35
360	13,984	23,03	39,5	12,79	66,7	29,14	2,35	5,23

Příloha 3: Volná konvekce

Volná konvekce			
Volná konvekce v neomezeném prostoru : $Nu = c (Gr.Pr)^n$			
kde c a n :	$Gr.Pr < 1 \cdot 10^3$	$c = 0,45$	$n = 0$
	$1 \cdot 10^3 < Gr.Pr < 5 \cdot 10^2$	$c = 1,18$	$n = 0,125$
	$5 \cdot 10^2 < Gr.Pr < 2 \cdot 10^7$	$c = 0,54$	$n = 0,25$
	$2 \cdot 10^7 < Gr.Pr$	$c = 0,135$	$n = 1/3$
U desek obrácených teplou stranou nahoru zvětšit c o 30 %.			
U desek obrácených teplou stranou dolů zmenšit c o 30 %.			
Určující teplotou je aritmetický střed mezi teplotou stěny a teplotou tekutiny.			
Charakteristický rozměr:			
	pro svislé stěny a svislé trubky	- výška ($L = h$)	
	pro vodorovné válcové stěny	- průměr ($L = d$)	
	pro vodorovné desky	- kratší strana	

Příloha 4: turbulentní proudění trubkami

c) turbulentní proudění trubkami (rovnice platí od $Re = 10^4$, $Pr > 0,7$):									
$Nu = 0,021 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \epsilon_t \cdot \epsilon_R \cdot \epsilon_L$									
Opravný součinitel na neizotermické proudění: $\epsilon_t = \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25}$									
Teplotní součinitel pro plyny: $T_s/T = 0,5$ až 1 $\epsilon_t = 1,27 - 0,27 \cdot T_s/T$									
$T_s/T = 1$ až $3,5$ $\epsilon_t = (T_s/T)^{-0,55}$									
$T_s, T \dots \dots$ absolutní teploty stěny a tekutiny [K]									
Opravný součinitel pro oblouky (d -průměr potrubí, R -poloměr zakřivení):									
$Re'_{kr} < Re < Re''_{kr} \dots \dots \epsilon_R = 1, \quad Re > Re''_{kr} \dots \dots \epsilon_R = 1 + 1,8 d/R$									
Kritické hodnoty Reynoldsova kritéria: $Re'_{kr} = \frac{16,4}{\sqrt{d/R}}, \quad Re''_{kr} = 18500 \cdot \left(\frac{d}{2 \cdot R} \right)^{0,28}$									
Opravný součinitel ϵ_L pro krátké trubky:									
ℓ / d	1	2	5	10	15	20	30	40	50
$Re=2 \cdot 10^4$	1,51	1,4	1,27	1,18	1,13	1,10	1,05	1,02	1,00
$Re=5 \cdot 10^4$	1,34	1,27	1,18	1,13	1,10	1,08	1,04	1,02	1,00
$Re=1 \cdot 10^5$	1,28	1,22	1,15	1,10	1,08	1,06	1,03	1,02	1,00
$Re=1 \cdot 10^6$	1,14	1,11	1,08	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00